



TITLE:

照明計算における完全拡散でない  
面内の相互反射の研究(  
Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

上谷, 芳昭

---

CITATION:

上谷, 芳昭. 照明計算における完全拡散でない面内の相互反射の研究. 京都大学, 1990, 工学博士

ISSUE DATE:

1990-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k4548>

RIGHT:

|         |                           |
|---------|---------------------------|
| 氏 名     | うえ たに よし あき<br>上 谷 芳 昭    |
| 学位の種類   | 工 学 博 士                   |
| 学位記番号   | 工 博 第 1119 号              |
| 学位授与の日付 | 平 成 2 年 3 月 23 日          |
| 学位授与の要件 | 学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当   |
| 研究科・専攻  | 工 学 研 究 科 建 築 学 第 二 専 攻   |
| 学位論文題目  | 照明計算における完全拡散でない面内の相互反射の研究 |

論文調査委員 (主 査) 教授 松浦邦男 教授 藤田茂夫 教授 寺井俊夫

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、建築空間が完全（均等）拡散反射特性をもたない仕上材料で構成されている場合の、相互反射を考慮した照明計算方法の確立を目的とした理論と実験による研究をとりまとめたもので、6章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の照明設計における位置づけを行い、従来の照明計算方法の問題点を考察し、研究目的を述べている。

第2章「完全拡散でない面内の相互反射の計算法」では、本研究の理論的根拠となる基本式を定式化している。まず、面の反射指向特性を反射特性関数（面に平行光で与えた照度に対する反射光の輝度と反射角の余弦の積の比）によって表現した。次に、輝度を未知数とする完全拡散でない面内の相互反射の基本式（第2種フレドホルム型積分方程式）を上記の反射特性関数を用いて導入し、それを用いて実際の数値計算に適した完全拡散でない面内の光束伝達相互反射式を導いている。

第3章「建築材料の反射指向特性の測定」では、建築空間を実際に構成する材料の反射指向特性の性状を把握し、そのモデルを構成するための基礎資料を得ることを目的とした測定を行っている。通常の測定と異なる特徴は、各種建築材料の反射指向特性を表皮反射（物質境界面でのフレネル型反射）と層内反射（表面薄層からの物体色を示す反射）とに分離するため、偏光を用いた変角測光を行った点である。測定結果より層内反射はおおむね拡散性で入射条件や材料表面の状態が変わっても変化が少ないのに対し、表皮反射は入射条件および表面の状態に左右され、正反射方向を中心とする指向性を持ち、総合的な反射指向特性に大きく影響することを示している。

第4章「反射指向特性の数式モデル」では、完全拡散でない面内の相互反射の計算法に実際の反射指向特性を組み込むための反射特性関数の数式モデルを構成した。まず表皮反射については正反射小素面の組み合わせとそのマスキング現象とによるモデルとして、また層内反射としては完全拡散反射性でその反射率が層内反射比（表皮から内部へよ屈折した光のうち外部へ戻る光の割合）と表皮反射率によって定まると

したモデルとして反射特性関数を定めた。ついで実測値から材料表面固有の小素面の分布関数と実験による係数とを推定し、特定の角度条件で得られたモデルが任意の条件の反射特性関数に適用できることを示した。

第5章「完全拡散でない面内の相互反射の数値計算法」では、前述の反射指向特性の数式モデルを完全拡散でない面内の光束伝達相互反射式に組み込み、種々の反射特性関数をもつ面によって構成される長方形室内の輝度の指向性分布の性状を数値実験により明らかにしている。この計算の結果を、完全拡散反射仮定の場合および準完全拡散反射（反射指向特性は完全拡散であるが入射角によって反射率が異なる反射）と正反射との合成によって近似した場合と比較し、これらの仮定および近似が相互反射による照度及び輝度を過大に見積るおそれのあることを示した。また、輝度の指向性分布を十分な精度で求めることができる簡易計算法を開発し、精算に比べて計算時間が大きく減らせ得ることを示した。

第6章は「総括」で、本論文の結論をまとめたものである。

### 論文審査の結果の要旨

建築空間の相互反射を考慮した照明計算においては、表面が完全（均等）拡散反射性の場合についてはその計算方法はすでに確立されている。完全拡散でない面に関しては、鏡像法またはレイトレーシング法が使用されているが、正反射のみまたは仮想の反射指向特性を用いているなどいまだ不十分である。一方、建築照明環境の快適性の評価やコンピュータグラフィックスによる表現のために、それらの詳細な輝度分布や指向性の予測方法に対する要求が高まっている。本研究は、ほとんどが完全拡散でない実際の建築仕上材料の反射指向特性を測定してこれを数式モデルとし、完全拡散でない面内の反射指向特性を考慮した相互反射計算法を開発して、照明環境の輝度分布を予測することを目的としたものであり、得られた成果のうち主なものは以下のとおりである。

1. 面の反射指向特性を表現する反射特性関数を用いて、完全拡散でない面内の相互反射基本式（第2種フレドホルム型積分方程式）及び数値計算に適した光束伝達相互反射式を定式化した。

2. 非金属材料について光沢となる表皮反射と物体色を表わす層内反射に分離して反射指向特性の性状を知る観点から、新たに製作した偏光変角測光装置を用いて反射特性関数の両成分の分離測定を行い、各種建築材料の反射指向特性について多くの知見を得た。とくに、木の素材は木目（繊維）と平行と垂直の各入射方向とで表皮・層内両反射成分とも指向特性にかなりの差があること、均質な材料の層内反射成分はほぼ完全拡散に近いことを示している。

3. 測定した反射指向特性を相互反射の計算式に組み込むために、反射特性関数の数式モデルを提案した。滑らかでない表皮反射のモデルとしては、傾きの異なる多くの正反射性小素面の反射理論とそのマスキング現象とにより、層内反射としては一定の層内反射比をもつ完全拡散反射とし、実測値から小素面の分布関数を推定して再現性の高いモデルを構成している。この方法により任意の入射・反射の角度条件の反射特性関数を推定することを可能にした。

4. 上記の反射指向特性モデルを光束伝達相互反射式に組み込み長方形室内の輝度の指向性分布を計算し、完全拡散反射仮定の場合および入射角によって反射率が異なる完全拡散反射と正反射の組み合わせ仮定

の場合との比較により、両仮定とも照度及び輝度を過大に見積るおそれのあることを明らかにした。

5. 光束伝達相互反射の計算過程において、指向性拡散反射を第2回まで考慮すれば、実用上十分な精度が得られ、かつ計算時間が大幅に減らせることを数値計算結果より明らかにしている。

以上要するに、本論文は実際の建築材料の反射指向特性を、物体色を表わす層内反射と、光源色光をそのまま反射する表皮反射とに分離測定し、これを数式モデル化して完全拡散でない面内の相互反射式に組み込む手法を開発し、建築空間の視環境の評価に必須である輝度の予測を可能としたもので、学術上・実際上寄与するところが少くない。よって本論文は学位論文として価値あるものと認めた。

また、平成2年2月6日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。